

# El largo y sinuoso camino de la fibra óptica

José A. Martín-Pereda

## Introducción

El 7 de julio de 1960, la Hughes Aircraft Company convocó una Conferencia de Prensa en el Hotel Delmonico, de Nueva York, para anunciar la realización del primer láser. En ella, su artífice, T. Maiman señaló las cinco aplicaciones para las que se estimaba que el nuevo descubrimiento podía ser una herramienta formidable. Una de las más significativas era la de lograr “un incremento significativo en el número de canales disponibles en comunicaciones”.

Evidentemente no era el láser en sí el que, por sus características, iba a ser el único impulsor de ese incremento: era la luz que generaba la que sería la verdadera responsable de ese avance. Disponer de una radiación electromagnética, con una frecuencia varios órdenes de magnitud por encima de la de las microondas, hasta entonces protagonistas de los sistemas de comunicación, permitiría llegar a un nivel en el que millones de transmisiones podrían compartir canal y longitud de onda. Ese desplazamiento, desde las microondas a las radiaciones ópticas, aumentaría la frecuencia de la portadora en un factor de 100.000 con el consiguiente incremento de la capacidad del canal.

Esa posibilidad fue enseguida reconocida por las grandes industrias y compañías de comunicaciones y, con ellas, los laboratorios académicos que las daban soporte. La búsqueda de nuevos tipos de láseres, con mayor fiabilidad y mejores prestaciones que el inventado por Maiman, avanzó con un ritmo frenético a partir de entonces. Prácticamente la mayor parte de los tipos con los que se ha estado trabajando hasta el final del siglo xx fueron descubiertos en muy pocos años. De hecho, entre 1960 y 1965, la literatura existente muestra cientos de nuevas clases de láseres y múltiples variaciones de los mismos.

Pero aunque la introducción del láser fuera un factor imprescindible para el desarrollo de las comunicaciones, esta era una condición necesaria pero no suficiente. El otro factor que era imprescindible determinar era el medio a través del cual se llevaría a cabo la transmisión. La propagación a través de la atmósfera, en un camino análogo a como se estaban desarrollando gran parte de los sistemas de microondas, estuvo desde el principio descartado. Los principales problemas derivaban de los gradientes de temperatura del aire, así como de otros factores como la situación atmosférica o la contaminación. Por ejemplo, una diferencia de temperatura de 0,001 °K en un haz que tuviera 10 cm de diámetro y recorriera una distancia de 1 km sería suficiente para deflektarlo una distancia igual a la de su diámetro. Llegó a estimarse

que la máxima distancia que podría alcanzarse, para obtener un 99 % de fiabilidad en la transmisión para cualquier tipo de condiciones atmosféricas, no podría sobrepasar de unos pocos kilómetros [1]. Y así, conjuntamente con los estudios sobre los nuevos láseres que se estaban creando, empezó una fuerte carrera por encontrar el medio más favorable como soporte de la transmisión. En esta carrera, los principales protagonistas fueron los científicos e ingenieros que trabajaban en las grandes compañías de comunicación. Este entorno será el objetivo central de las presentes líneas.

## Propuestas y algunas soluciones previas

En la década de los cincuenta, bastantes años antes de que la propuesta de Kao viera la luz, dos batallas se estaban dando en el campo de la transmisión de radiaciones electromagnéticas. Por un lado se encontraba la que se desarrollaba en el entorno de las microondas. Por otro, la que buscaba transmitir luz e imágenes a través de un cilindro de material transparente. En la primera, las principales protagonistas eran las compañías telefónicas de ambos lados del Atlántico. En la segunda, un heterogéneo grupo de industrias que iban desde las que fabrican instrumentos para medicina a las que, por ejemplo, buscaban soluciones para enviar la imagen captada por el periscopio de un submarino.

Las microondas habían sido protagonistas de gran parte del avance tecnológico desarrollado en la Segunda Guerra Mundial. Si gracias a ellas pudieron implementarse los sistemas de radar que salvaron a Gran Bretaña de la invasión alemana, aún tenían pendientes varios problemas fundamentales. El primero era lograr un generador que emitiera a una longitud de onda que, cuando se transmitiera a través de la atmósfera, sufriera la menor atenuación posible. El segundo, conseguir un medio cerrado por el que pudiera transmitirse la radiación en tierra sin que tuviera contacto con el exterior. La solución del primer problema condujo, como ya es ampliamente conocido, al desarrollo por Townes del primer máser y, con ello, a poner la primera piedra para el nacimiento del



Fig. 1. Sir Charles Kuen Kao (Hong Kong, 1933).

láser. La solución al segundo dio lugar a un fructífero avance en la creación de guías de onda con los diseños más sofisticados y que, en su imagen más inmediata para un profano, se asemejaban a las cañerías de una complicada obra de fontanería. Todas las compañías telefónicas centraron su actividad principal de desarrollo en estas guías y nadie dudaba de que tendrían un futuro muy largo y, además, muy fructífero económicamente.

Por lo que se refiere a la transmisión de luz o imágenes por medio de tubos huecos o cilindros de vidrio, su historia se retrotrae hasta finales del siglo XIX [2]. De hecho, en 1881, William Wheeler patentó un sistema de iluminación de una vivienda, hoy ampliamente reproducido como curiosidad en muchos libros, y que gracias a un gran foco de luz situado en el sótano y mediante “cañerías” llevaba la luz a las diferentes habitaciones de la casa. Pero la verdadera historia de la transmisión

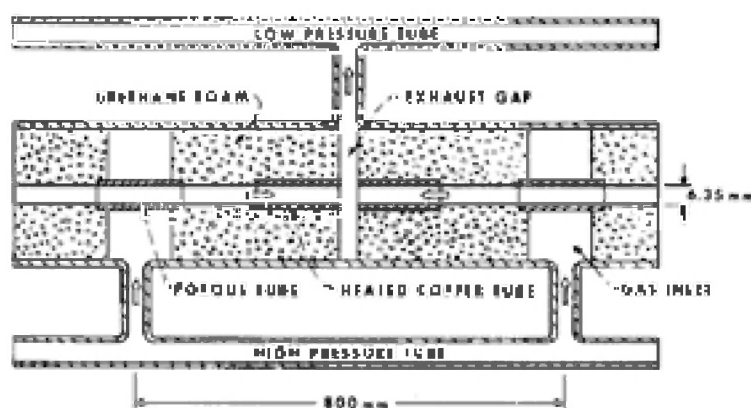


Fig. 2. Sección de una lente térmica de gas para guiado de radiación óptica.

de imágenes tuvo lugar esencialmente en muchos de los principales países europeos en los años previos y posteriores a la Segunda Guerra Mundial. Con los nombres de Lamm, Hansell, O'Brien, Hickset y algunos otros, pueden encontrarse un gran número de patentes en las que conductos de diferentes vidrios eran capaces de llevar luz para muy diferentes aplicaciones, desde iluminar la cavidad bucal en odontología a sistemas que ampliaban el tamaño de las pantallas de la recién nacida televisión.

### Los años de las grandes guías bajo tierra

Igual que en todo problema físico, las condiciones de contorno determinan las soluciones y los resultados obtenidos en cualquier desarrollo que se lleve a cabo. Los dos grandes entornos en los que iba a desarrollarse la batalla por las comunicaciones ópticas, Estados Unidos y Gran Bretaña, tenían condicionantes muy distintos. En ambos eran las compañías telefónicas las que pujaban por llevar a cabo sistemas de transmisión basados en la luz. Pero mientras que en Estado Unidos la prioridad se daba a los grandes tendidos que enlazasen las ciudades de una costa con otra y a estas entre sí,

con miles de kilómetros entre ellas y, en muchos casos sin apenas problemas orográficos, en Gran Bretaña, y obviamente en el continente europeo, la situación era muy diferente. Las grandes distancias aquí no existían y el objetivo era enlazar entre sí núcleos urbanos próximos, con topografías intermedias muy complicadas y, de ser posible, extender ese tendido al interior de las ciudades.

En lo que todas las compañías coincidían era en la idea de que su objetivo no podía descansar en un transporte a través del aire. Y aquí empezaron a diferenciarse los planteamientos realizados a un lado y otro del Atlántico.

Los técnicos de la Bell y el resto de empresas de telefonía americanas, muy desde el principio, optaron por la idea que más se asemejaba a la del transporte de microondas a través de guías. El medio ideal por sus características era el aire, pero en un medio libre este podía perturbarse con la presencia de mínimos elementos atmosféricos, lluvia, niebla... u otros factores ya derivados del hombre, como la contaminación; la solución más fácil en consecuencia sería confinarlo a un entorno cerrado en el que todo pudiera ser controlado. Esto es, continuar con las guías de onda ya bien conocidas desde los años cincuenta.

La literatura de los años sesenta ofrece una muy amplia colección de propuestas, muchas de ellas presentadas por miembros de los equipos de los laboratorios de la Bell, aunque también los investigadores de la Standard Telecommunications Laboratories, Ltd, (STL) británicos, participaron en la carrera. Dos ideas fueron, en un principio, las que recibieron mayor atención: basar simplemente la transmisión en una conducción a través de un largo tubo con las paredes metalizadas para lograr una mayor reflexión o añadir al mismo una serie de elementos que forzarán una transmisión lo más confocal posible. En una de las propuestas más referenciadas, la de C. C. Eaglesfield [3], del año 1961, se mostraba que un tubo hueco de una pulgada de diámetro y con una tolerancia de  $\pm 3$  mil, metalizado especularmente en su interior, podría transmitir “un número muy elevado de canales”, con una atenuación por debajo de los 2,5 dB/milla, pudiendo permitir radios de curvatura de hasta media milla. Pero en esta propuesta, planteada muy próxima en el tiempo a la aparición de los primeros láseres de gas, pronto surgieron problemas derivados de los modos electromagnéticos que podían propagarse. Cada uno de ellos tendría unas características diferentes de propagación y, con ello, la posibilidad de ensanchamiento de los pulsos con su consiguiente solape; esto implicaba una fuerte limitación sobre la velocidad de transmisión.

Para soslayar lo anterior, se inició el planteamiento de nuevas soluciones basadas en tubos huecos equivalentes a los anteriores pero en los que se introducían una serie de estructuras con-

focales que impedirían la dispersión espacial del haz. Igual que antes, nuevos efectos perturbadores iban apareciendo según se hacían las primeras pruebas de campo. Mínimas irregularidades en las superficies del tubo, del orden de  $\lambda/10$ , acumulaban efectos de dispersión modal, igual que lo hacían variaciones del gradiente térmico del entorno, vibraciones del suelo donde estuviera enterrada la conducción y, como es lógico, inestabilidades de las lentes. Todo ello llevó a una solución que ya casi sólo fue adoptada por los laboratorios de la Bell: introducir gas en el interior de los tubos y diseñar lentes de gas específicamente diseñadas para este uso. Quizás la propuesta más elaborada, y ya con bastantes resultados experimentales que la respaldaban, puede verse en la propuesta de P. Kaiser, de 1969 [4].

Pero los laboratorios de STL, como se dijo antes, atendiendo a sus aplicaciones futuras de enlaces de pequeñas distancias y orografía complejas, empezaron a buscar otros caminos. Y a la vista de cómo los laboratorios de la ATT en Estados Unidos se estaban enfrentando al tema, con recursos ingentes, decidieron abandonar casi en su totalidad los desarrollos que llevaban a cabo en ondas milimétricas. Casi todo su personal se transfirió al naciente campo de las futuras comunicaciones ópticas. Con ello un gran número de expertos en electromagnetismo se encontró trabajando en torno a un margen de longitudes de onda diferente. Entre ellos se encontraba A. E. Karbowiak que llevaba ya cerca de diez años trabajando sobre la posibilidad de transmitir luz a través de un medio material, siguiendo la estela de las antiguas guías de luz y que, a la vista de los desarrollos americanos, estimó que la única solución factible sería con fibras ópticas.

Pronto Karbowiak contrató a un joven ingeniero chino, Charles K. Kao, que estaba realizando un doctorado “industrial” en la Universidad de Londres, mientras trabajaba en problemas prácticos en la STL, para que calculara las propiedades de las guías-ondas milimétricas multimodo. El tema no era muy atractivo para Kao que creía que gran parte del problema se encontraba en la transmisión multimodo y, en consecuencia, que posiblemente se resolvería pasando a monomodo. Karbowiak estimaba que el paso de las microondas a la luz se resolvería reduciendo las dimensiones de todo por un factor de 100.000. Conjuntamente con Kao contrató también a G. A. Hockham que se había graduado de la universidad hacía sólo dos años. Los fondos destinados al proyecto no eran muchos, pero la investigación se reduciría a la parte teórica, en principio no demasiado compleja. La realización real seguiría otro camino. La idea básica de Karbowiak era transmitir luz a través de delgadas películas del material adecuado (polietileno, entre otros) con lo que las dimensiones de la guía serían del orden de  $0,2 \mu\text{m}$  de grosor y



**Fig. 3.** G. A. Hockham, coautor del artículo de 1966 con Kao, con los modelos de guías de microondas fabricados para comprobar su modelo.

1 cm de anchura. Según su incipiente teoría esta guía transmitiría solo un modo. Y ahí se quedó la idea, porque, a mediados de 1964, Karbowiak recibió una oferta muy atractiva económicamente para ir a la Universidad de Nueva Gales del Sur, en Australia. El tema y el grupo, de sólo dos personas, Kao y Hockham, quedó en manos del primero que, inmediatamente, decidió abandonar la guía plana y pasar, como algunos otros, a la fibra óptica recubierta, recogiendo la idea de aprovechar la reflexión total, planteada mucho antes por otros investigadores.,

Y el primer sencillo cálculo que hicieron Kao y Hockham fue estimar qué propiedades debería tener la posible guía. Teniendo en cuenta la potencia de láser que se podría introducir a la fibra y la que debería salir para poder ser detectada adecuadamente, llegaron a la cifra mágica de que no debería absorber más de 20 dB/km. Esto es, que tras recorrer un kilómetro al menos el 1 % de la luz que había entrado llegase al otro extremo. Este sencillo número determinó todo su trabajo a partir de entonces.

Kao y Hockham se dividieron la tarea en dos misiones perfectamente definidas, que eran las que se correspondían con los entornos en los cuales la luz podría perder intensidad: las irregularidades en la guía, que podrían dar lugar a dispersión de la luz, y la transparencia de los materiales de los que se podría disponer. Hockham, más experto en ondas milimétricas, se centró en la primera, mientras que Kao se dirigió a la segunda. El trabajo del primero constituiría la parte fundamental de su Tesis Doctoral y se reflejó, además de en el modelo teórico, en la realización práctica de una serie de modelos a una escala muy superior a la real, en los que la experimentación resultaba más fácil. Algunos de ellos aparecerían en el artículo publicado en 1966 [5] y que luego se comentará.

Por lo que se refería al material, las cosas se tornaron bastante más difíciles. No había apenas nada en la literatura y los fabricantes de vidrio tampoco tenían mucha más información. De hecho, nadie había estudiado los límites fundamentales de la



transparencia del vidrio. Tampoco nadie había necesitado ese dato dado que a lo más que aspiraban los fabricantes de fibras de luz era a llevar ésta a una distancia no superior a unos cuantos centímetros. La atenuación que presentaban era del orden de 1 dB/m y eso era suficiente para sus fines. No era de extrañar el que todos los que habían intentado el camino de aplicarlas en comunicaciones lo hubiesen abandonado muy pronto.

La base de Kao, mucho más formado en el entorno del electromagnetismo que en las realizaciones empíricas de los fabricantes de vidrio, le llevó a tratar de encontrar qué expresiones podrían determinar lo que luego los experimentos deberían confirmar. Los tres factores que deberían estar presentes en las posibles ecuaciones serían: las reflexiones en las superficies, presentes sobre todo a la entrada y a la salida, el scattering de luz por los átomos del vidrio y la absorción de radiación óptica por estos.



**Fig. 4.** Charles Kao, en 1965, realizando una de las experiencias iniciales sobre fibras ópticas en los laboratorios de la Standard Telecommunication Laboratories en Harlow, Reino Unido.

En el problema del scattering pronto encontraron una expresión que les sirvió para empezar a andar. Algunos años antes R. D. Maurer, en la Corning Glass Works, había dado una fórmula que daba idea de su magnitud. Cuando la aplicaron a su estructura encontraron un número que les convenció de que su idea no era descabellada. Según el estudio de Maurer, las pérdidas por el scattering deberían ser del orden de 1 dB/km, para una longitud de onda de una micra.

Por lo que respecta a la absorción, todos los fabricantes de vidrio sabían, desde épocas históricas, que el principal origen de la transparencia era la cantidad de impurezas presentes en el material. Pero se ignoraba qué capacidad de absorción tendría el vidrio si se le quitaban todas las existentes. Lo que podía ser válido en la fabricación de lentes, en vidrieras o en fibras de luz, seguramente dejaría de tener sentido al aplicarlo a largas distancias. Las únicas palabras que le dieron ánimo para seguir en su camino fueron las del Profesor Rawson, del Instituto de Tecnología del Vidrio, de Sheffield, que le indicó que muy posiblemente,

cuando todas las impurezas se hubieran eliminado, la atenuación quizás llegase a los 20 dB/km. Esto significaba que las comunicaciones por fibra óptica podrían llegar a ser posibles.

Con todo lo anterior, Kao y Hockham decidieron juntar todas las piezas y empezar la parte empírica. Obtuvieron unas pocas fibras en STL con unos núcleos por debajo de las cuatro micras, en las que, a pesar de tener unas pérdidas muy altas, la luz roja de un láser de He-Ne obtenida a la salida mostraba una transmisión monomodo. Hicieron otras pruebas con un láser de semiconductor y con luz blanca y, tras probar los modelos de microondas de Hockham y ver su concordancia con lo obtenido, estimaron que las comunicaciones a través de fibras ópticas podían ser una realidad.

El 27 de enero de 1966 presentaron sus resultados en la sede de la Institution of Electrical Engineers, en Londres, y a continuación mandaron para su publicación un artículo con más detalles a los *Proceedings* del mismo IEE. El artículo [5] fue publicado en julio de ese año y constituye el artículo seminal de las comunicaciones ópticas a través de una fibra óptica. Los Laboratorios STL, ansiosos por adelantarse a sus posibles competidores, no esperaron ni a la presentación oral ni a la escrita para informar a la prensa de lo que habían obtenido. El 26 de enero remitieron una nota a la prensa en la que anunciaban que “Experiencias de transmisión a corta distancia sobre guías de fibra óptica han dado resultados positivos. Han mostrado una capacidad de transmitir información a una velocidad de un gigaciclo, lo que es equivalente a unos 200 canales de televisión o a más de 200.000 canales de telefonía”. Sin dar muchos detalles del sistema en su conjunto, indicaban que “cuando estas técnicas se perfeccionen será posible transmitir una gran cantidad de información entre Europa y América a través de un único cable”, lo que era imposible con las estructuras huecas que se estaban ensayando para las ondas milimétricas. Señalaban, lo cual era totalmente cierto, que los dispositivos usados no estaban aún disponibles comercialmente y que la comunicación a muy grandes distancias, a través del espacio, presentaba aún muchos problemas sin resolver.

La noticia, tanto la dada a la prensa como a los medios especializados, apenas tuvo eco. Algunas revistas muy de segunda fila mencionaron ese año las experiencias de Kao y ninguna de las de primera hicieron la más mínima referencia. Por ejemplo, en un número especial publicado en octubre de 1966 por los *Proceedings* del IEEE, y dedicado exclusivamente a los nuevos tipos de láseres y a sus posibles aplicaciones, en el artículo dedicado a la Transmisión Óptica, y escrito por S. E. Miller, de los Laboratorios de la Bell, se seguía indicando como única posibilidad de transmisión de luz a través de un medio confinado la realizada a través de tubos huecos con lentes en su interior, bien convencio-

nales o bien de gas [6]. Esta situación se seguía manteniendo varios años después y, por ejemplo, en la misma revista, en otro número especial de 1970, en esta ocasión ya dedicado específicamente a "Optical Communication", en el artículo de D. Gloge centrado en la transmisión óptica a través de guíaondas [7], las fibras ópticas aparecen en él con un protagonismo análogo al que se da a la transmisión a través de guías huecas con lentes en su interior.

¿Qué fue necesario para aclarar el camino?

### Impulso final

Aunque Kao trató por todos sus medios de impulsar en STL el desarrollo de nuevos procesos para la fabricación de fibras ópticas con las características deseadas, su intento no avanzó a la velocidad deseada. Incluso su primer colaborador, Hockham, abandonó pronto el tema de las comunicaciones ópticas y se centró en el desarrollo de antenas, tema con el cual se sentía más familiarizado. A pesar de ello Kao llegó a realizar medidas basadas en muestras de sílice fundida con las que fabricó fibras de dióxido de silicio,  $\text{SiO}_2$ , y en las que llegó a conseguir tener menos de una parte por millón de impurezas. Los resultados seguían siendo prometedores, pero los fondos necesarios para fabricarlas de manera continua no le llegaron. Los laboratorios de la Bell tampoco conseguían desvincularse de su línea de conducciones huecas. El empujón definitivo vino de una compañía totalmente desvinculada del campo de las comunicaciones: la Corning Glass Works.

Bob Maurer, cuyos cálculos hacía algunos años habían sido, como ya se ha visto, una de las bases para el impulso inicial de Kao, estimó que era el momento para que la Corning aprovechara el conocimiento que había acumulado durante muchos años. Estaba completamente convencido de que la sílice fundida era el material ideal, a pesar de que casi todos le evitaban por su reducido índice de refracción y por la temperatura tan alta que tenía de fusión. Pero Maurer estaba seguro de que podía ser el material en el que se podía conseguir una mayor pureza y además la Corning llevaba treinta años trabajando en él. Maurer, a su vez, llevaba con la sílice desde el año 1956.

La estrategia de la Corning se encaminó a estudiar todos los parámetros posibles de la sílice fundida y a integrar en su equipo a todos aquellos que estimó podían dar nuevas ideas. Sus dos piezas fundamentales fueron Peter Schultz y Donald Kerk. El primero se acababa de graduar en la Rutgers y el segundo, de recibir su doctorado en la Michigan State University. El canadiense Félix Kapron pronto se unió al grupo. Si éste se centraría en las dimensiones óptimas de núcleo y cubierta, los anteriores lo hicieron en el material. Todo su trabajo apenas tuvo contacto con el exterior, de acuerdo con la política de la Corning. Durante el

verano de 1967, un gran grupo de estudiantes realizaron sus proyectos de graduación bajo la dirección de Maurer; en torno a temas relacionados con las fibras de vidrio, tanto en el material, como en la forma de hacerlas lo más finas posible y en sus propiedades ópticas y mecánicas. Los resultados que podía alcanzar la Corning en todos estos temas estaban con toda seguridad muy por encima de lo que Kao podía conseguir en su laboratorio.

La historia de cómo el grupo fue probando técnicas y desechándolas a continuación es una verdadera odisea de pruebas y errores que podría cubrir varios capítulos en la historia de las Comunicaciones Ópticas. Toda ella se realizó casi en secreto, sin contacto con los otros grupos que trabajaban en el tema; nadie, de hecho, tenía la más mínima sospecha de cuál era la situación en la que se encontraban ni de qué resultados estaban teniendo.

Los resultados surgieron al principio del verano de 1970. Parece que un viernes por la tarde, encontrándose Don Keck sólo en el laboratorio, consiguió estirar un kilómetro de fibra que al enrollarse en un tambor se rompió en dos trozos. Tomó el de 200 metros y, estando seguro de que al volver el lunes la fibra se habría hecho mucho más frágil, aunque estaba solo, trató de hacer una transmisión de luz a su través. El resultado fue sorprendente con respecto a lo que se había conseguido en anteriores ocasiones. Tras enfocar el haz en el núcleo, un destello rebotó hacia el exterior, con una forma diferente de la del haz de entrada. La razón, según intuyó de inmediato, era que la luz había llegado a rebotar en el otro extremo componiéndose con la de entrada. Según se com-



Fig. 5. Nota de prensa dada en enero de 1966 por STL para anunciar los primeros desarrollos de una fibra óptica.



Fig. 6. Donald Keck, Robert Maurer y Peter Schultz, en los laboratorios de la Corning Glass Works, en 1970.



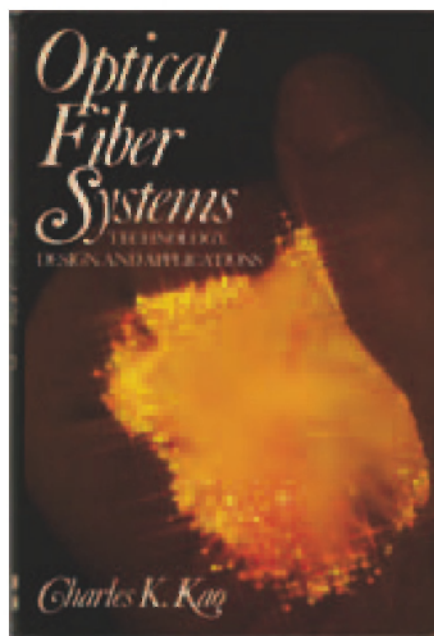


Fig. 7. Cubierta del libro de C. K. Kao, de 1982, sobre Sistemas de Fibra Óptica.

probó después, la superficie final reflejaba un 4 % de la luz que le llegaba. Medidas hechas posteriormente mostraron que la fibra tenía una atenuación de 16 dB/km. Keck, Maurer y Schultz habían conseguido la fibra que Kao soñaba.

El problema de la Corning era cómo presentar sus resultados. La tradición de la industria del vidrio era patentar lo menos posible, porque, así como un proceso puede ser patentado con una cierta garantía de no ser copiado, el resultado obtenido estribaba más en los detalles y estos son fáciles de esquivar. En cualquier caso,

lo abogados de la Corning intentaron salvaguardar lo más posible su desarrollo. Maurer y Schultz presentaron el 11 de mayo una patente con las propiedades de una guía de sílice fundida [8] y Keck, otra también con Schultz sobre la fabricación de fibras [9]. Maurer a continuación escribió un breve resumen de lo obtenido para presentarlo en una conferencia que se celebraría en Londres a finales de septiembre, en la sede de la Institution of Electrical Engineers. Únicamente escribió que había obtenido unas pérdidas por scattering de unos 7 dB/km en fibras rectas, sin curvaturas, hecho que estaba dentro de lo que otros, como Kao, habían dicho.

Lo conferencia estaba destinada a mostrar lo que se estimaba era el futuro de las telecomunicaciones: la transmisión de ondas milimétricas a través de guías-ondas. Nadie vislumbraba ningún futuro para las fibras ópticas. Cuando Maurer presentó sus resultados de 16 dB/km, y que no había mencionado en el resumen que había enviado, muy pocos atendieron. Al final de la conferencia, casi todos mantenían la certeza en el futuro de las guías.

Pero pronto las cosas cambiaron. La Post Office británica pidió a Maurer comprobar los resultados experimentales y a partir de este momento el resto de las industrias que ya trabajaban en el tema se lanzaron al desarrollo de nuevas configuraciones. Pronto todas se dieron cuenta de que, además, existían dos problemas cuya solución no era fácil. Por un lado se encontraba el problema de introducir luz al núcleo de la fibra, así como la alineación entre dos fibras que se quisiera unir. Por otro, determinar en ellas el mejor diseño para lograr una mejor transmisión. Pronto se vio que, aunque las fibras monomodo eran las idóneas, introducir luz en ellas era un problema muy difícil con la tecnología de que se disponía. Los japone-

ses pronto encontraron una solución con fibras de gran diámetro de núcleo en las que se creaba un perfil de índice de refracción gradual. Curiosamente, este perfil de índice era el que presentaban las lentes de gas desarrolladas unos años antes y, gracias a ello, la teoría de propagación de un pulso de luz por ella pudo presentarse en pocos meses. Eran multimodo, pero la dispersión entre modos se hacía muy pequeña. La mayor parte de los fabricantes optaron por soluciones análogas a ésta y pronto las fibras multimodo comenzaron a dominar el mercado.

A partir de ese momento, la aventura de la fibra óptica ya discurrió por otros caminos. Nadie discutió su futuro y sólo quedaba sacar de ella el mejor resultado posible. Esa aventura llega hasta nuestros días.

### Colofón

Muy pronto se encontró algo que era obvio: la sílice fundida presentaba unas propiedades que eran fuertemente dependientes de la longitud de onda que pasaba por ella. Y si por ella iba a transmitirse una radiación óptica con una cierta información, para que en su avance sufriera las mínimas perturbaciones, debería ser capaz de introducir una dispersión lo más reducida posible en la señal, conjuntamente con una baja atenuación. En 1975, el grupo de W. A. Gambling, en la Universidad de Southampton, encontró que a  $1,27 \mu\text{m}$  el material presentaba una dispersión nula [10]. Este resultado era muy favorable para la transmisión debido al hecho de que próxima a esas frecuencias, si la sílice se dopaba ligeramente con algunos dopantes como  $\text{GeO}_2$ , se encontraba una zona de atenuación mínima. Es la zona que ahora se conoce como “segunda ventana”.

Lo anterior disparó una carrera por encontrar la zona de trabajo más favorable para la transmisión de señales ópticas. Pronto se encontró que la sílice fundida también presentaba otro mínimo de atenuación alrededor de  $1,55 \mu\text{m}$  y esa zona se denominó “tercera ventana”. En su entorno se encuentran hoy la mayor parte de las comunicaciones.

En 1986, el mismo grupo de Gambling, ahora ya encabezado por David N. Payne, encontró una nueva posibilidad para que las fibras ópticas pudieran ser verdaderas protagonistas de las comunicaciones ópticas [11]. Dopadas adecuadamente con erbio podían convertirse en el elemento que faltaba para llegar a conseguir unas verdaderas comunicaciones ópticas, con la mínima intervención de electrónica posible. Son los actualmente empleados amplificadores de fibra dopada con erbio y que eliminaron a los repetidores usados hasta entonces, en los que la señal óptica debía transformarse a eléctrica para que pudiera ser regenerada y, tras ello, vuelta a convertirse en óptica. Si 1964 implicó un salto en la forma de transmitir señales, 1986 significó su asentamiento. Es de señalar que

si la ponencia de Maurer en 1970 fue el hito de la conferencia de ese año, aunque casi pasó desapercibida en ese momento, la de Payne en Brighton, en 1986, en el marco de la European Conference on Optical Communications, ECOC'86, significó un nuevo jalón en este campo. Todos los asistentes quedaron/quedamos mudos ante lo presentado.

C. K. Kao siguió hasta 1970 en los laboratorios de la STL y ese año pasó a la Universidad China de Hong Kong para crear el Departamento de Ingeniería Electrónica y una serie de instituciones a su alrededor. En 1974 la ITT le contrató en sus laboratorios de Virginia y posteriormente pasó a los de Connecticut, compaginándolo con algunas clases en la Universidad de Yale. Siguió su colaboración con ITT hasta 1986 en donde alcanzó el puesto de Corporate Director of Research. En 1982 publicó un libro sobre sistemas de fibras ópticas [12]. En 196 páginas cubría todo el espectro de las comunicaciones ópticas desde la composición de los materiales hasta consideraciones económicas sobre el diseño de sistemas. El libro era como una visión general de este campo, quizás más para ejecutivos de las grandes compañías de comunicaciones que para los que trabajaban profesionalmente en este campo. No llegó a ver una segunda edición. Hacia 1987 volvió a la Universidad China de Hong Kong donde mantuvo su actividad hasta su jubilación en 1996. Entre 1997 y 2002 mantuvo una relación como profesor visitante con el Imperial College, de Londres, y durante esos años se le podía ver ocasionalmente por la Conferencia Europea de Comunicaciones Ópticas, ECOC. En el cambio de siglo, en una de las innumerables listas de personajes importantes que se confeccionaron en esos días, se señalaba a Kao como uno de los cinco personajes más importantes en Asia en los últimos cien años. Los otros cuatro eran Deng Xiaoping, Akira Kurosawa, Mohandas K. Gandhi y Akio Morita. En 2004 se le diagnosticó que sufría de Alzheimer y sus apariciones en público se hicieron más esporádicas. Cuando en 2009 recibió el Premio Nobel, fue su mujer la que leyó el discurso de recepción.

## Referencias

- [1] W. A. GAMBLING, "The Rise and Rise of Optical Fibers", *IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 6. núm. 6 (2000).
- [2] J. HECHT, "City of Light", Oxford Univ Press. 1999.
- [3] C. C. EAGLESFIELD, "Optical Pipeline: A Tentative Assessment", *Proc. IEE* (London), vol. 109b, pp. 26-32 (enero de 1962).
- [4] P. KAISER, "An Improved Thermal Gas Lens for Optical Beam Waveguides", *Bell. Syst. Tech. J.*, vol. 49, pp. 137-153 (enero de 1970).
- [5] K. C. KAO y G. A. HOCKHAM, "Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies", *Proc. IEE*, vol. 113, pp 1151-1158 (julio de 1966).
- [6] S. E. MILLER y L. C. TILLOTSON, "Optical Transmission Research", *Proc. IEEE*, vol. 54, pp. 1300-1311 (octubre de 1966).
- [7] D. GLOGE, "Optical Waveguide Transmission", *Proc. IEEE*, vol. 58, pp. 1513-1520 (octubre de 1970).
- [8] R. D. MAURER y P. C. SCHUTZ, "Fused Silica Optical Waveguide" (11 de mayo de 11 1970). Pat. U.S. 3.659.915.
- [9] D. B. KECK y P. C. SCHULTZ, "Method of Producing Optical Waveguide Fibres" (11 de mayo de 11 1970). Pat. U.S. 3.711.262.
- [10] D. N. PAYNE y W. A. GAMBLING, "Zero Material Dispersion in Optical Fibres", *Electronics Letters*, vol. 11, núm. 8. pp. 176-178 (17 de abril de 1975).
- [11] S. B. POOLE, D. N. PAYNE, R. J. MEARS, M. E. FERMANN y R. E. LAMING y J. LIGHTWAVE, *Tecnol.* 4, 870 (1986).
- [12] KAO, CHARLES K., *Optical Fiber Systems: Technology, Design, and Applications* (McGraw-Hill Book Company, Nueva York, 1982).

**José A. Martín-Pereda**  
Profesor Emérito, Universidad  
Politécnica de Madrid

